

# Otto motorun kısmi yüklerinde teorik minimum yakıt tüketimi

Hikmet ARSLAN\*, Ertuğrul ARSLAN

İTÜ Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 34437, Gümüşsuyu, İstanbul

## Özet

Otto motorları kısmi yük rejimlerinde pompalama kayıpları nedeniyle dizellere göre daha düşük verime sahiptir. Bu kayıpları azaltma yollarından biri kademeli dolgu uygulamasıdır. Geliştirmiş olduğumuz hesaplama yöntemini kullanarak 'iki aşamalı yanma' mekanizmasına sahip kademeli dolgulu motorun teorik minimum yakıt tüketimi karakteristikleri stokyometrik bileşimli 'homojen karışimli yanma' mekanizmasına sahip klasik Otto motorun karakteristiği ile birlikte karşılaştırılmışlardır. Minimum efektif özgül yakıt tüketimi vurutuya yol açmayacak yüksek sıkıştırma oranında 'iki aşamalı yanma' mekanizması ile elde edilmiştir. Böylece Otto ve dizel motoru avantajlarını tek bir motorda birleştirmek için bir teorik çözüm sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Otto motoru, kademeli dolgulu motor, minimum yakıt tüketimi, kontrol karakteristikleri.

## Theoretical minimum fuel consumption of Otto engines at part loads

### Abstract

The main reason that at part loads Otto internal combustion engine has higher specific fuel consumption than diesel engine is higher pumping losses, which are increasing by shutting the engine's throttle valve. Opening the throttle valve as wide as possible can decrease these losses and this can be done in stratified charged Otto engines. Using results of developed from us thermodynamically cycle calculation model, theoretical minimum specific fuel consumption characteristics of a stratified charged Otto engine with 'two-stage combustion' mechanism are determined. Minimum specific fuel consumption characteristics at two compression ratios and characteristics of classical Otto engine at stoichiometric composition with 'homogeneous charge combustion' were compared. As a result the lowest effective specific fuel consumption and exhaust gas emission values has the stratified charged engine at high compression ratio (without detonation) with 'two-stage combustion' mechanism. Minimum fuel consumption, volumetric efficiency and excess air ratio that allow this consumption were determined according to the change of the engine load ( $b_e = f(p_{me})$ ,  $\eta_v = f(p_{me})$ ,  $\lambda = f(p_{me})$ ). With use of these characteristics in real engine calibration it can be saved time and money. As a conclusion it can be said that this paper suggests one theoretical solution to the problem of combining the advantages of both Otto and diesel engines.

**Keywords:** Otto engine, stratified charge engine, minimum fuel consumption, control characteristics.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Hikmet ARSLAN. arslanh@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 34 70.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Makina Fakültesi'nde tamamlanmış "Otto motoru kısmi yüklerinde minimum yakıt tüketimi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 11.06.2003 tarihinde dergiye ulaşmış, 18.07.2003 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.03.2005 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Giriş

Klasik otomobillerde kullanılan Otto motorlarının maksimum gücü gaz kelebeğinin tam açık konumunda hava fazlalık katsayısı (HFK)  $\lambda$  ve ateşleme avansı  $\phi_a$  değerlerinin vuruntu olmayacak şekilde ayarlanmasıyla elde edilir. Bu durumda yakıt tüketimi minimum değildir. Kullanım sürelerinin büyük bir kısmı şehir içi trafiğinde geçen bu otomobiller çoğunlukla kısmi yük rejimlerinde çalışmaktadır. Bu şartlarda çalışacak Otto motorlarının yakıt besleme ve ateşleme sistemleri yakın bir geçmişe kadar minimum yakıt tüketimine göre ayarlanmaktaydı. Ancak hava kirliliğine karşı önlemlerin uygulamaya alınmasıyla birlikte adı geçen sistemler egzoz gaz emisyon değerlerinin standartların öngördüğü sınırlar içinde kalacak şekilde ayarlanmaktadır. Bu durumda yakıt ekonomisi karakteristiği minimum değildir, dolayısıyla yüke bağlı olarak HFK'nın değişimi de minimum yakıt tüketimi için ayarlanmamıştır. Günümüzde egzoz emisyon standartlarını sağlayan üç yollu katalitik dönüştürücülü (katalizatörlü) Otto motorları kısmi yük rejimlerinde de  $\lambda = 1.0$  şartında çalışmak zorundadır, çünkü ancak bu durumda katalizatörün verimli çalışması sağlanmış olur. Yakıt besleme sisteminin katalizatöre göre ayarlanması yakıt tüketiminin %3,...,5 artmasına yol açmaktadır. Üretilmekte olan otomobil Otto motorlarının bugünkü ayar durumu da böyledir. Petrol rezervlerinin sınırlı olmasından dolayı günümüz araştırmaları bu sorunu çözmeyi hedeflemektedir.

Yakıt ekonomisini artırabilecek en etkili parametrelerden birisi sıkıştırma oranıdır. Otto motorlarında minimum yakıt tüketimini sağlayacak sıkıştırma oranı kullanılan yakıtın oktan sayısı ile egzoz emisyon değerleri göz önüne alınarak seçilir. Bilindiği gibi, sıkıştırma oranı  $\varepsilon$  ve ateşleme avansı  $\phi_a$  gereğinden çok artırıldığında hidrokarbon (HC) ve azot oksit ( $NO_x$ ) kirletici gaz miktarları ciddi bir biçimde artmaktadır, karbon monoksit (CO) miktarına etkisi ise dikkate alınmayacak derecede azdır. HFK'nın  $NO_x$ 'e etkisi iki yönlüdür: hem zengin ( $\lambda < 1$ ), hem de fakir ( $\lambda > 1.1$ ) karışımlarda  $NO_x$  emisyonları azalmaktadır. Yanma kararlılığı bozulmadan karışım fakirleştikçe HC emisyonları da

azalmaktadır. Motorun daha büyük HFK'larla ( $\lambda > 1.3$ ) çalışma imkanı olsaydı, o zaman hiç katalizatör kullanmadan hem düşük emisyon değerleri, hem de maksimum yakıt ekonomisi elde edilebilirdi. Bu bağlamda günümüzdeki Otto motorların sıkıştırma oranı genelde  $\varepsilon = 9.5$ 'ten büyük olmamaktadır (Orlin ve Kruglov, 1983).

Bilindiği üzere geleneksel Otto motorlarında hava-yakıt karışımı daha da fakirleştirildiğinde ( $\lambda > 1.3$ ) klasik buji ateşlemeli sistem, yanma sürecinin normal gelişimi için gerekli reaksiyon ortamını sağlayamamaktadır. Bu motorlarda güç kontrolü hava-yakıt karışımının toplam miktarının değişimi (gaz kelebeği açıklık konumu) ile olması yanma olayında etkin olmaktadır. Gaz kelebeğin kapanmasıyla birlikte bir taraftan sıvı yakıtın buharlaşmasını kolaylaştırarak homojen dolgu oluşumu kolaylaşmakta, diğer taraftan ise volümetrik verim azalmakta ve bununla ters orantılı olarak değişen artık gaz miktarı da artmaktadır. Bu durumda düşük yüklere geçilmesiyle HFK'nın artırılması (fakirleştirilme) yerine, dizellerin aksine azaltılması (zenginleştirilmesi) zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Diğer taraftan kelebeğin kapanması ile emme ve egzoz süreçlerine harcanan iş, yani pompalama kayıpları artırılmış olur. Böylece Otto motorlarının kısmi yük rejimlerinde, fakir hava-yakıt karışımlar kullanılamamasından dolayı bu motorların klasik yöntemlerle geliştirilmesi pek olası değildir. Bu nedenle Otto motorunu kısmi yük rejimlerinde fakir hava-yakıt karışımlarıyla çalıştırabilecek bir yöntemden yararlanılmalıdır.

Otto motorlarının fakir karışımlarla çalışmasını sağlayacak yöntemlerin bulunması geçen yüzyılın başlarından beri bilim adamlarını düşündürmektedir. Bu problemin çözülmesinde esas amaç hem dizelin, hem de klasik Otto motorunun avantajlarını kendi içinde birleştiren kademeli dolgulu motor yaratmak olmuştur. Son yıllarda CO, HC ve  $NO_x$  egzoz kirleticilerin yanı sıra karbon dioksit ( $CO_2$ ) egzoz gazına da sınırlamanın gündeme gelmesiyle bu konunun önemi daha da artmıştır. Kyoto Protokolü kararlarına göre sera etkisi yaratarak küresel ısınmaya yol açan  $CO_2$  miktarının üretimi azaltılmalıdır. Bu

kapsamda Avrupa ülkeleri 2008 yılına kadar otomobillerinin egzoz emisyonlarından kaynaklanan  $CO_2$  miktarını 1990 yılı verilerine göre kademeli olarak %30 düşürme taahhüdünde bulunmuştur. Bu problemin esas çözüm yolu ise Otto motorlarında fakir karışımlar kullanılarak motorun yakıt tüketimini azaltmaktır. Bu amaca yönelik olarak birkaç yıl önce Mitsubishi firması tarafından kademeli dolgulu motorun gelişmiş bir örneği piyasaya sürülmüştür. Değişik bir kademeli dolgu prensibi kullanılan diğer bir yöntem de bu çalışmaya temel oluşturmaktadır (Mehdiyev ve Wolanski, 2000).

Bu makalede, 'İki aşamalı yanma' mekanizması ile çalışan kademeli dolgulu Otto motorlarının minimum yakıt tüketimi karakteristiği ve bunu sağlayacak kontrol karakteristikleri teorik olarak nasıl elde edildiği konusuna yer verilmiştir.

### Kademeli dolgulu Otto motorları

Kademeli dolgu prensibi ilk kez 1918 yılında Ricardo tarafından uygulanmıştır. Bu prensip ile çalışan motorlara, *kademeli dolgulu* (Stratified Charge) *motorlar* denir (Ricardo, 1922). Kademeli dolgu uygulamasında mevcut motorlardan farklı olarak ateşleme bujisi etrafında zengin, yanma odasının diğer bölgelerinde ise fakir hava-yakıt karışımı sağlanmalıdır. Günümüze dek çeşitli otomobil üreticileri (GM, Ford, Texaco, Volkswagen, BMW, Fiat, Honda, Mitsubishi, Toyota vb.) tarafından kademeli dolgulu motorların birçok örneğinin teklif edilmesine rağmen, klasik motorlar gibi seri üretimleri yapılmamıştır (Weaving, 1990). Bunun nedeni tüm yük ve hız rejimlerinde buji etrafında kolaylıkla tutuşabilen zengin karışım sağlayamamak ve fakir karışımı güvenilir bir biçimde yakamamaktır. Bu sorunları çözmek için yapılmış çalışmalar sonucu önerilmiş motorları hava-yakıt karışımı oluşum şemasına göre iki sınıfa ayırmak mümkündür:

I. Hava-yakıt karışımı silindirin içinde oluşan, dizel motorlarında olduğu gibi, direkt yanma odasına yakıt püskürtülen Otto motorları (Direct Injection SI Engine - GDI) (Kume vd., 1996);

II. Yakıt-hava karışımı, klasik Otto motorlarında olduğu gibi, silindirin dışında (emme manifoldunda)

oluşan ve yanma prosesi iki aşamada gerçekleşen motorlar ('İki aşamalı yanma') (Mehdiyev ve Wolanski, 2000).

Kademeli dolgulu motorun basit bir örneği Azerbaycan Teknik Üniversitesinde önerilmiştir (Mehdiyev vd., 2000). Sekize benzer esas yanma odasında (YO) emme ve sıkıştırma zamanı birbirinin tersine aynı hızda dönen iki döngülü hareket oluşturulur. Bu nedenle bu yanma odası 'İki Döngülü Yanma Odası' olarak da adlandırılmaktadır. HFK  $\lambda=0.5, \dots, 0.8$  arasında değişen zengin karışımlardan oluşan yanma odasının yarısında buji ve ön türbülans odacığı yerleştirilir. Yanma odasının diğer yarısında ise sadece hava vardır. Her iki döngü aynı hız ve momentumla döndüklerinden ateşleme anına kadar birbirleriyle karışmamaktadır (Mehdiyev ve Wolanski, 2000). Zengin hava-yakıt karışımı silindire karbüratör veya emme manifolduna takılan düşük basınçlı enjektör ile gönderilir. Burada 'İki aşamalı yanma' söz konusudur:

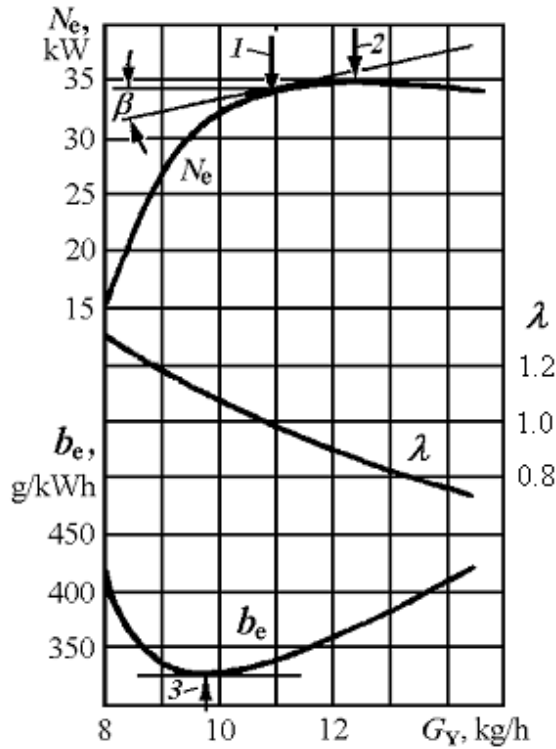
- 1) Zengin karışımın yanması ve eksik yanma ürünlerin ( $CO$  ve  $H_2$ ) oluşması;
- 2) Eksik yanma ürünlerinin hava ortamında yakılması.

Birinci aşamada zengin karışım ( $\lambda_1=0.5, \dots, 0.8$ ), ikinci aşamada ise fakir karışımın yüksek hızla dönen türbülanslı ortamda yakılmasıyla vuruntulu yanma ortamı önlenmekte ve böylece yüksek oktan sayılı yakıt kullanmadan sıkıştırma oranı optimum değerine ( $\varepsilon = 11, \dots, 12$ ) yükseltilebilmektedir. Yanma odası içinde genel hava-yakıt karışımı fakir olduğundan dolayı motorun ısı verimi de artmaktadır.

### Otto motorun maksimum yüklerinde optimum ayar

Yeni üretilecek bir Otto motorunun en iyi güç, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonu karakteristiklerinin belirlenmesi çok iyi donanımlı bir fren deney düzeneğinde farklı kontrol karakteristikleri elde edilmesi ile gerçekleşmektedir. Bu karakteristiklerin arasında en fazla zaman ve maddi yatırıma, motorun yüküne bağlı olarak minimum yakıt tüketimi karakteristiğinin elde edilmesi için gereksinim vardır. Bu, karakteristiği çıkartmak

için gaz kelebeği konumu (en az dört-beş farklı konumda, örneğin maksimum yükün %100, %75, %50 ve %25'ini sağlayan gaz kelebeği konumları) ve motor hızı (farklı hızlarda, örneğin minimum 1000 d/d'dan 500 d/d artışlarla maksimum dönme hızına kadar) her deney noktası için sabit tutularak yakıt besleme sisteminin (karbüratörlü veya benzin püskürtmeli) yardımı ile yakıt miktarını yanma sınırları içinde küçük adımlarla değiştirilmesi gerekmektedir. Böyle karakteristikler örneği Şekil 1'de gösterilmiştir (Orlin ve Kruglov, 1983).



Şekil 1. GAZ-51 motorun tam yük rejiminde yakıt debisine bağlı olarak karakteristiklerinin belirlenmesi: 1 – normal; 2 – maksimum güce göre; 3 – minimum yakıt tüketimine göre

Buradaki grafikler gaz kelebeğinin tam açık konumunda (tam yükte) elde edilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi motorun maksimum gücü (2 noktası) hava fazlalık katsayısının  $\lambda = 0.9$  değerinde, minimum özgül yakıt tüketimi ise (3 noktası)  $\lambda = 1.1$  değerinde elde edilmiştir. Eğer motor maksimum güç elde etmek için ayarlanırsa özgül yakıt tüketimi %15 artırılmış olur, yok eğer minimum özgül yakıt tüketimi için ayarlanırsa bu defa gücün %10'u kaybedilmiş

olur. Bu nedenle ara bir çözümle (ayarlar ile) güçten küçük bir fedakarlık ile (%1-%2 güç düşürülmesiyle) yakıt tüketiminde iyi bir düşüş (%10'a kadar) elde edilmesi mümkündür. Bu çözüm şeklindeki  $N_e$  eğrisine  $\beta$  açısında bir teğet çizilerek istenilen optimum ayar noktası (1 noktası) bulunur. Bu  $\beta$  açısı

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{1kW}{1kg/h} \quad (1)$$

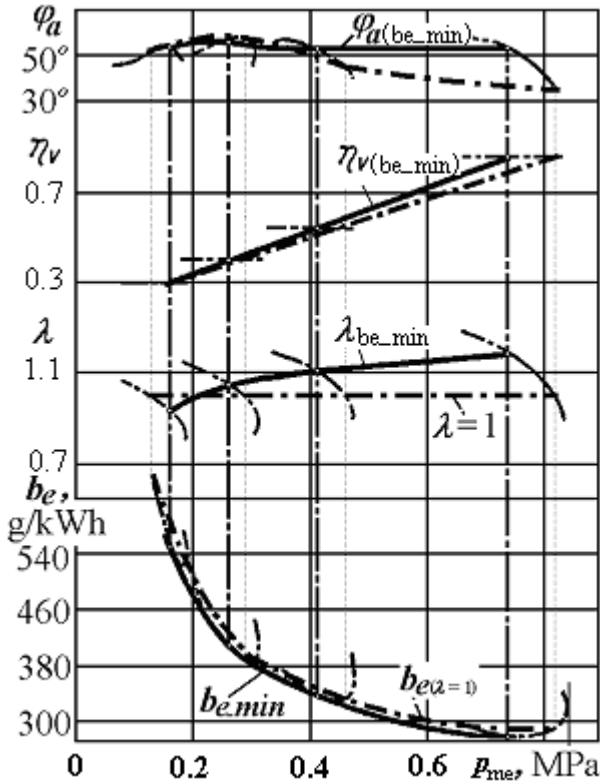
ifadesinden bulunur. Bu şekilde gaz kelebeğinin tam açık konumunda ve farklı devir sayılarında elde edilen değerleri gösteren karakteristik, tam yükteki optimum karakteristiğini belirler ve bu motorun kumanda sistemi bu gücü elde edecek şekilde ayarlanmaktadır.

### Kısmi yüklerde minimum yakıt tüketim karakteristiklerinin deneysel olarak belirlenmesi

Motorun kısmi yüklerinde minimum yakıt tüketimine göre karakteristikleri yukarıda açıklandığı gibi, ancak gaz kelebeğinin ara konumlarında elde edilen karakteristiklerin yardımıyla belirlenir. Örnek olarak Şekil 2'de homojen karışımla çalışan karbüratörlü bir Otto motoru gaz kelebeğinin dört ayrı konumunda elde edilen eğrilerinden ibaret karakteristikler verilmiştir. Gaz kelebeğinin kapanması ile volümetrik verim  $\eta_v = 0.9$ 'dan  $\eta_v = 0.3$ 'e kadar azalmış, bu ise ortalama efektif basıncını  $p_{me} = 0.82$  MPa'dan  $p_{me} = 0.17$  MPa' la düşmesine yol açmıştır. Yükün bu sınırlar arasında değişimi arasındaki  $b_{e\_min}$  minimum özgül yakıt tüketimi eğrisi her bir gaz kelebeği konumunda elde edilmiş  $b_e$  eğrilerine teğet bir zarf eğrisi çizilerek bulunmuştur. Bu zarf eğrisini belirleyen HFK  $\lambda$ , volümetrik verim  $\eta_v$  ve ateşleme avansı  $\phi_a$  kontrol eğrileri,  $b_e$  eğrileri teğet noktalarından geçen düşey çizgilerin sabit gaz kelebeği eğrilerini kestiği noktalar birleştirilerek elde edilmiştir.

Şekil 2'de görüldüğü gibi yük azaldıkça optimum HFK'da sürekli bir düşüş olur ve çok düşük yüklerde motor zengin hava-yakıt karışımı ile çalışır. Bu olgu homojen karışımla çalışan

motorların doğasına uygun bir durumdur ve bu, kısmi yüklerde pompalama kayıpları ile birlikte yakıt tüketimin artışına yol açan bir etkidir. Burada, yeri gelmişken yaygın olarak uygulanmakta olan bir gerçeği açıklamak gerekmektedir. Daha önce belirtildiği gibi, günümüz homojen karışimli Otto motorları, üç yollu katalizatörün verimli çalışması açısından tüm yük rejimlerinde HFK  $\lambda = 1.0$  değerinde sabit olacak şekilde ayarlanmıştır. Dolayısıyla Şekil 2’den de görüldüğü gibi klasik Otto motorların günümüzdeki durumu minimum yakıt tüketimi için değil, standartlarda öngörülen egzoz emisyon değerlerini sağlamak üzere ayarlanmıştır. Böylece orta yük rejimlerde motoru  $\lambda = 1.0, \dots, 1.2$  bileşimli fakir karışımlar yerine  $\lambda = 1.0$  stokyometrik karışımlar, çok düşük yüklerde ise  $\lambda = 0.8, \dots, 0.9$  bileşimli zengin karışımlar yerine yine stokyometrik karışımlarla çalıştırarak  $b_e$  eğrisini minimumun üzerine, daha yüksek yakıt tüketimi yönüne doğru çekilmiş olur (şekildeki kesikli çizgi).



Şekil 2. MZMA-407 motorun minimum yakıt tüketimine göre optimum denetim karakteristiği ( $n = 2000$  d/d)

Yukarıda açıklanmış olan yöntem ile farklı hızlarda bulunan karakteristikler motorun minimum yakıt tüketimini sağlayacak karakteristikler olup, motor yakıt besleme sisteminin tasarlanmasında (ayarlanmasında) temel veri olarak kullanılır. Buradan anlaşıldığı üzere motorun minimum yakıt tüketim karakteristiklerini bulmak yukarıda belirtildiği gibi hem zaman, hem de maddi yatırım gerektirmektedir.

### Kısmi yüklerde minimum yakıt tüketim karakteristiklerinin teorik olarak belirlenmesi

İçten yanmalı motorlarda güç kontrolü geleneksel olarak Otto motorlarında hava-yakıt karışım miktarı, dizelerde ise yakıt miktarı ile gerçekleştirilmektedir. Kademeli dolgu Otto motorlarında güç kontrolü karışım miktarının yanında ek olarak yakıt miktarı ile de yapılabilir. İşte bu iki kontrol yöntemi kullanılarak, hesaplama yoluyla (teorik olarak) minimum yakıt tüketimi elde edilmesi bu makalenin özünü oluşturmaktadır.

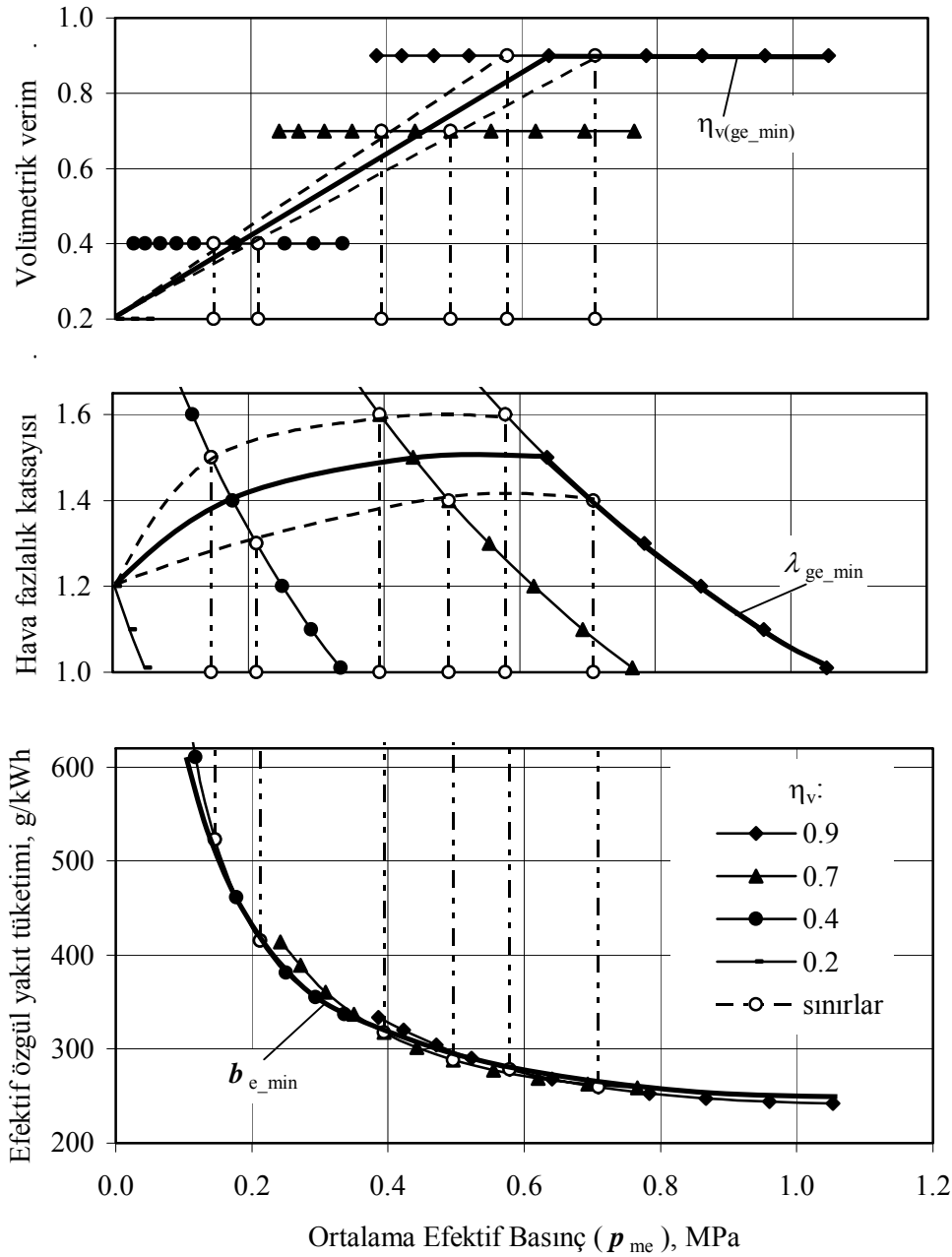
Arslan ve diğerleri (2002) varolan termodinamik hesap yöntemini (Kolçin ve Demidov, 1980) geliştirerek ve böylece Otto motorlarında hava-yakıt karışımının oluşum şekline bağlı olarak yanma sürecinde termodinamik açıdan beklenen özellikler ve egzoz gaz emisyon değerlerinin düşük tutulması şartı göz önünde bulundurarak kısmi yük rejimlerinde yüksek yakıt ekonomisini sağlayacak şartları hesaba katmıştır. Geliştirilmiş olan bu yöntem Otto motorunun tüm yük ve hız rejimlerinde volümetrik verim, hava fazlalık katsayısı ve sıkıştırma oranına bağlı olarak indike ve efektif büyüklüklerini hesaplama olanağına sahiptir.

Şekil 3’te  $n = 2000$  d/d’da  $\varepsilon = 9$  sıkıştırma oranında kademeli dolgu ile çalışan bir motorun Şekil 2’dekine benzer, ancak hesap sonucu minimum yakıt tüketimi karakteristiği gösterilmiştir. Farklı volümetrik verimlerde hesaplama elde edilen sonuçların  $b_e = f(p_{me})$  ve  $\lambda = f(p_{me})$  eğrileri çizilmiştir. Efektif özgül yakıt tüketimi  $b_e = f(p_{me})$  eğrilerine teğet bir zarf eğrisinin geçebileceği noktalar aralığını tespit ederek düşey çizgiler (sınırlar) çizilmiştir. Bu düşey çizgilerin

hava fazlalık katsayısı ve volümetrik verim eğrilerini kestiği noktalar arası, olası minimum yakıt tüketimini sağlayacak aralıkları belirlemektedir. Böylece minimum efektif özgül yakıt tüketimini sağlayacak hava fazlalık katsayısı ve volümetrik verim alanları belirlenmiş olmaktadır. Bu şekilde minimum yakıt tüketimini sağlayacak ortada yer alan  $\lambda = f(p_{me})$  ana eğrisinin yanı sıra, hem  $\lambda = 1.6$ 'ya kadar en fakir, hem de  $\lambda = 1.2$ 'ye kadar en zengin sınırlar arasında değişebilecek sınır eğrileri de gösterilmiştir. Motor yükünün değişmesiyle HFK'nın bu sınırlar ara-

sında değişmesi,  $b_e$  özgül yakıt tüketiminin istenilen minimum seviyede tutulmasını sağlayacaktır.

İki döngülü yanma odalı Otto motorunun bu özelliği yük kontrol ünitesinin çok da ince hassasiyetle ayarlanmasını gerektirmeyeceğini göstermektedir, dolayısıyla yeni motorda ünitenin ayarlanması ile ilgili yapılması öngörülecek deney çalışmalarının, klasik Otto motorlarında olduğu gibi detaylı çok hassas bir biçimde yapılması gerekmeyecektir.

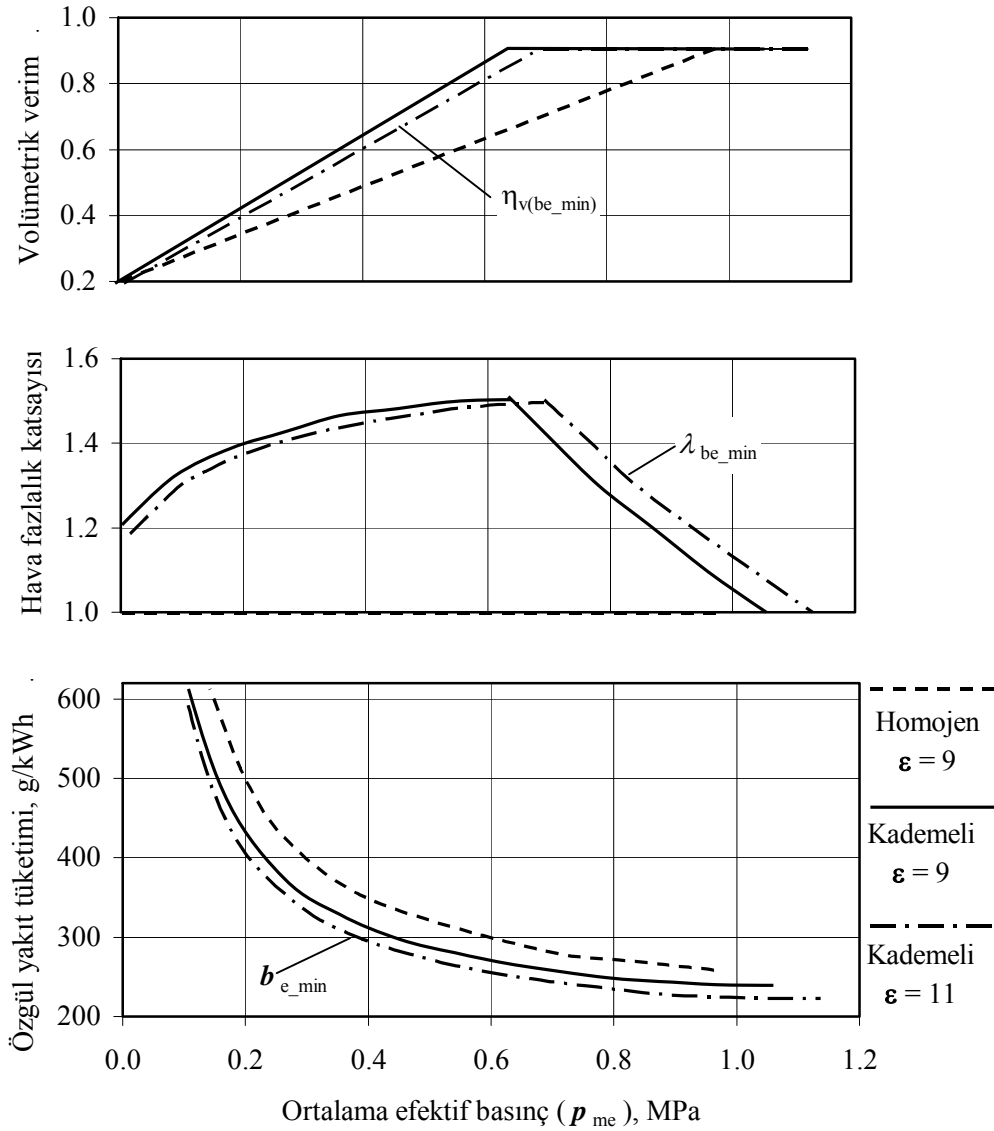


Şekil 3. Minimum yakıt tüketim karakteristiğinin bulunması ('iki aşamalı yanma',  $n = 2000$  d/d;  $\varepsilon = 9$ )

'Homojen karışımli yanma' ve 'difüzyonlu yanma' mekanizmaları kullanıldığında da aynı hesaplama yoluyla Otto motorları *teorik minimum yakıt tüketimi karakteristiğinin* belirlenmesi mümkündür.

Şekil 4'te  $\varepsilon = 9$  ve  $\varepsilon = 11$  sıkıştırma oranlarında kademeli dolgulu,  $\varepsilon = 9$ 'da homojen karışımli hesap sonuçlarından yararlanılarak grafikler verilmiştir. Homojen karışımli sistemde yük artışı,  $\lambda = 1.0$  sabit HFK'da volümetrik veriminin artışı, yani gaz keleşiğın açılması ile sağlanmıştır. Kademeli dolgulu sistemde ise yük artışı HFK  $\lambda = 1.2$  ve volümetrik verim  $\eta_v = 0.2$ 'den başlayarak  $\lambda = 1.5$  ve  $\eta_v = 0.9$ 'a kadar artırılmasıyla, yani hem hava-yakıt karışımının fakir-

leştirilmesi hem de gaz keleşiğının açılması ile sağlanmıştır. Yükün daha sonraki artışı ( $\varepsilon = 9$  için  $p_{me} = 0.65$  MPa,  $\varepsilon = 11$  için  $p_{me} = 0.7$  MPa ortalama efektif basınçtan sonra)  $\eta_v = 0.9$  sabit volümetrik veriminde HFK'nın  $\lambda = 1.5$ 'ten 1.0'e kadar düşürölerek, yani dizel motorlarında olduğı gibi sadece yakıt miktarını artırarak gerçekteleşmiştir. Bu şekilde görölldüğü gibi aynı sıkıştırma oranında homojen karışımli sistemden kademeli dolgulu sisteme geçilmesiyle efektif özgül yakıt tüketiminde iyileşme ve ulaşılabilircek en yüksek ortalama efektif basınç artmaktadır. Örneğın 1.0 MPa ortalama efektif basıncında yakıt tüketiminde iyileşme %6.5'tir. Sıkıştırma oranı iki birim artırılmış ( $\varepsilon = 9 \rightarrow \varepsilon = 11$ )



Şekil 4. Karşılaştırmalı minimum yakıt tüketim karakteristikleri ( $n = 2000$  d/d;  $\varepsilon = 9$  ve  $\varepsilon = 11$ )

kademeli karışımli sistemden elde edilecek yarar daha da yüksektir.  $p_{me}=1.0$  MPa ortalama efektif basıncında yakıt tüketimindeki iyileşme %12.3'tür. Aynı sıkıştırma oranında kademeli dolgu sisteminin maksimum ortalama efektif basıncı, homojen karışımli sistemin maksimum ortalama efektif basıncından %8 daha yüksek, yüksek sıkıştırma oranlarında ise bu artış %15.7'dir.

Teorik irdellemelere göre motorlarda kademeli dolgu iki aşamalı yanma mekanizması kullanıldığında kısmi yüklerde çok fakir karışımların ( $\lambda = 1.2, \dots, 1.6$ ) efektif yakılmasıyla (Mehdiyev ve Wolanski, 2000) yakıt tüketiminin düşmesinin yanı sıra kirletici egzoz emisyon değerlerinin düşmesine de ( $CO_2$  emisyonları da dahil) yol açacaktır. Böylece katalitik dönüştürücüden önce düşük emisyon değerlerine ulaşarak kaynağın dan çözüm yoluna gidilmektedir.

## Sonuç

Yapılmış olan termodinamik hesap sonucunda elde edilen karakteristikler ( $b_e = f(p_{me})$ ,  $\eta_v = f(p_{me})$  ve  $\lambda = f(p_{me})$ ) yeni bir motorun yük kontrol ünitesinin tasarlanması ve ayarlanması için teorik bir katkı sağlayarak deneysel çalışmaları hızlandıracak düşünölmektedir.

## Teşekkür

Bu çalışma kademeli dolgu konusunda uluslararası deneyime sahip değerli hocamız Prof. Dr. Rafig MEHDİYEV'in katkılarıyla yapılmıştır.

## Kaynaklar

- Arslan, H., Mehdiyev, R. İ., Kutlar, O. A., Ergeneman, M., (2002). Benzin motorlarının indike ve efektif büyüklüklerini hesaplama ve kısmi yüklerde yakıt tüketimini azaltma yöntemleri, *OTEKON'02 Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, UÜ, Bursa, 24-26 Haziran, s. 168-175.
- Kolçin, A.İ. ve Demidov, V.P., 1980. Otomobil ve Traktör Motorlarının Hesabı (Rusça), Vıyşaya şkola, Moskova.
- Kume, T., Ivamoto, Y., Iida, K., Murakami, M., Akishino, K. and Ando, H., (1996). Combustion Control Technologies for Direct Injection SI Engine, SAE Paper No. 960600, *Society of Automotive Engineers*, Warrendale, Pa..
- Mehdiyev, R. I. and Wolanski, P., (2000). Bi-Modal Combustion Chamber for a Stratified Charged Engine, SAE paper 2000-01-0196, *SAE 2000 World Congress*, Detroit, Michigan, March 6-9, 53-61.
- Mehdiyev, R.I., Askerov, R. G., Vahidi, M., Jeyranpoor and R., Dehkharghani, M., (2000). Two-Rotational Combustion Chamber for Petrol Engine, *International Conference on Automotive Technology, ICAT-2000*, 19-20/October, Mechanical Engineering Faculty, Gumussuyu, Istanbul – TURKEY, 49-54.
- Orlin, A.C. ve Kruglov, M.G. (ed.), (1983). *İçten Yanmalı Motorlar. Pistonlu ve Aşırı Doldurmalı Motorların Teorisi* (Rusça), 375 s., Maşinostroyeniye, Moskova.
- Ricardo, H.R., (1922). Recent Work on Internal Combustion Engine, *SAE Transactions*, 17, May.
- Weaving, J. H., (1990). *Internal Combustion Engineering : Science & Technology*, Elsevier Science Publishers LTD.